

Рис.2 – Расчет десорбции

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1984. – 591 с.
2. Стерлин Л., Шапиро Э. Искусство программирования на языке «Пролог». – М.: Мир, 1990. – 326 с.
3. Трёмийон Б. Разделение на ионообменных смолах. – М.: Наука, 1967. – 431 с.
4. Ткачев В.А., Ткачев Д.В., Чуб В.С., Чуб И.Н. Расчет массообменных процессов водоподготовки при различном направлении взаимодействующих фаз // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 27. – К.: Техніка, 2001. – С.103-108.
5. Ткачев В.А. Чуб И.Н. Представление теоретических и экспериментальных данных по ионному обмену при помощи продукционной модели и логического программирования // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. Вып.8. – Белгород, 2004. – С.62-64.

Получено 12.07.2004

УДК 628.16

В.П.ХОРУЖИЙ, канд. техн. наук,  
Одеська державна академія будівництва і архітектури

### **ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ВОД НА УСТАНОВКАХ З ВОЛОКНИСТИМИ І ПІНОПЛІСТИРОЛЬНИМИ ФІЛЬТРАМИ**

Запропоновано технологічну схему підготовки води з природних водних джерел та методику розрахунку конструктивних і технологічних параметрів фільтрів з волокнистим і пінополістирольним фільтрувальними завантаженнями.

Для вирішення актуальних проблем охорони навколишнього середовища і захисту водних об'єктів у сучасних умовах велике значення має раціональне використання природних ресурсів і зниження кіль-

кості механічних і розчинних забруднень, що скидаються в природні водоймища.

Особлива увага приділяється інтенсифікації процесів очищення природних вод, удосконаленню технології і розробці нових ефективних методів очищення, впровадженню ресурсозберігаючих технологій.

Робота виконана в рамках державної програми "Екологічно чиста енергетика і ресурсозберігаючі технології" – 4-й напрямок науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

Аналіз досліджень, виконаних М.Г.Пивоваром та ін. [1], П.Д.Хоружим та ін. [4], свідчить, що перспективним методом очищення поверхневих вод на установках з волокнистими і пінополістирольними фільтрами, що дозволяє інтенсифікувати процес очищення природних вод, підвищити якість проясненої води, знизити витрату реагентів у середньому на 15-20%, поліпшити технологічні параметри очищення води, що в остаточному підсумку дозволяє підвищити продуктивність усієї системи в цілому з одержанням води необхідної якості (ДержСанПіН).

Для інтенсифікації процесів водопідготовки нами запропоновано такі технічні заходи [2]:

- аераційна обробка вихідної води;
- застосування нових ефективних реагентів для обробки води;
- використання процесів контактної коагуляції;
- управління процесами коагуляції води;
- використання сил гравітації при очищенні води;
- застосування біореакторів при очищенні природних і доочищенні стічних вод.

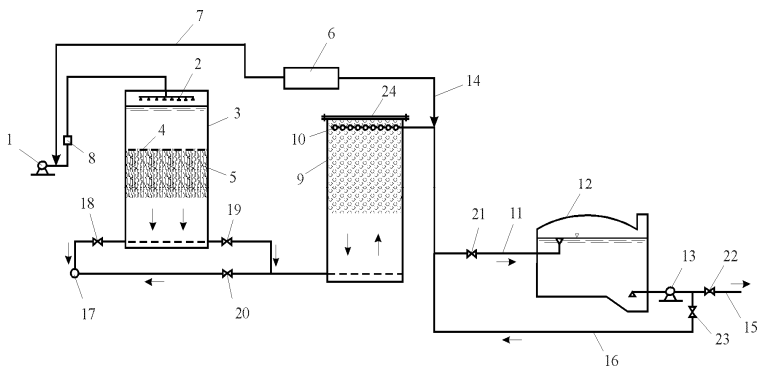
Ці заходи можуть бути здійснені на установці, технологічна схема якої показана на рисунку.

Вихідна вода насосом 1 з природного джерела через аератор 2 подається на біофільтр 3 з волокнистим завантаженням 5, що прикріплюється до решітки 4. З реагентного цеха 6 у вихідну воду по трубопроводу 7 перед шайбовим змішувачем 8 за 10-15 с до її розбризкування через аератор 2 подають розрахункову дозу розчину коагулянту. Такий режим роботи споруд створює сприятливі умови для утворення пластівців більшої міцності та густини, які краще затримуються на водоочисних спорудах, а отже приводить до економії коагулянту та покращення якості очищеної води.

Біофільтр виконує такі функції:

- біохімічне окислення домішок, що знаходяться у вихідній воді, за допомогою мікроорганізмів, які прикріплюються на поверхні во-

- локнистого завантаження;
- видалення з води газів для виключення пухирцевої кольматації у підфільтровому просторі освітлювального фільтра 9;
- забезпечення постійної швидкості фільтрування води на протязі фільтроциклу.



Технологічна схема установки для підготовки питної води в децентралізованих групових водопроводах:

1 – насосна станція для подачі вихідної води; 2 – аератор; 3 – біореактор; 4 – решітка; 5 – волокнисте завантаження; 6 – реагентний цех; 7 – подача реагентів для коагуляції води; 8 – шайбовий змішувач; 9 – напірний контактнo-освітлювальний фільтр з пінополістирольним завантаженням; 10 – ковпачковий дренаж; 11 – відведення очищеної води; 12 – РЧВ; 13 – насосна станція; 14 – подача гіпохлориту натрію для знезараження води; 15 – подача води споживачам; 16 – подача води на промивку; 17 – каналізаційна труба; 18-23 – засувки; 24 – кришка.

На контактному освітлювальному фільтрі 9 відбувається глибоке очищення води при її висхідному русі через пінополістирольне завантаження. В підфільтровому просторі цього фільтра накопичується осад з пластівців гідроксидної групи (заліза або алюмінію), який додатково приймає участь в очистці води в освітлювачі із завислим осадом. Очищена вода збирається ковпачковим дренажем 10 і по трубопроводу 11 відводиться в резервуар чистої води 12, з якого вона насосною станцією 13 по трубопроводу 15 подається споживачам.

Для знезараження води по трубці 14 подають розрахункову дозу технічного гіпохлориту натрію марки А.

Нами проведено експериментальні дослідження процесів очищення скоагульованих поверхневих [3] і підземних [4] вод на установках з плаваючим фільтрувальним завантаженням при висхідному русі води. Було встановлено, що ефективність очищення води  $E_i$  і коефіцієнт фільтрації завантаження  $K_{ф.i}$  залежать від питомої брудомісткості

освітлювального фільтра  $G_{\phi,i}$  на даний ( $i$ -й) момент часу, тобто кількості забруднень, яку затримав 1 м<sup>2</sup> площі фільтра, кг/м<sup>2</sup>.

Ці показники визначаються емпіричними степеневими формулами типу:

$$E_i = E_o + b \cdot G_{\phi,i}^{\beta}, \quad (1)$$

$$K_{\phi,i} = K_{\phi,o} - m \cdot G_{\phi,i}^n, \quad (2)$$

де  $E_o$  і  $K_{\phi,o}$  – відповідно ефективність очищення води (в долях одиниці) і коефіцієнт фільтрації завантаження (м/год) на початку фільтроцикла, коли  $T_{\phi} = 0$  і  $G_{\phi} = 0$ ;  $E_i$  і  $K_{\phi,i}$  – те ж саме в  $i$ -й момент часу на протязі фільтроцикла.

Параметри  $b$ ,  $\beta$ ,  $m$  і  $n$  залежать від характеристики вихідної води (поверхнева чи підземна), досліджуваної категорії якості (освітлення чи знебарвлення), характеристики фільтра, а також хімічної природи утворених гідроксидів (алюмінію чи заліза).

Для поверхневих вод при застосуванні як коагулянту сірчаноокислого алюмінію ці параметри дорівнюють [3]:

- при освітленні води  $E_o=0,7$ ;  $b=0,024$ ;  $\beta=1,1$ ;
- при знебарвленні води  $E_o=0,32$ ;  $b=0,0084$ ;  $\beta=1,6$ ;
- для коефіцієнту фільтрації  $K_{\phi,o}=250$  м/год;  $m=126$ ;  $n=0,31$ .

Для підземних вод при застосуванні біологічного методу знезалізнання води ці параметри дорівнюють [4]:

- для визначення вмісту заліза  $E_o=0,901$ ;  $b=0,058$ ;  $\beta=0,14$ ;
- для коефіцієнту фільтрації  $K_{\phi,o}=220$  м/год;  $m=142,5$ ;  $n=0,15$ .

Отже, знаючи питому брудомісткість фільтра на  $k$ -й момент часу  $G_{\phi,r,k}$ , можна визначити досліджувані параметри процесу очистки води.

Для поверхневих вод каламутність ( $M_{\phi,k}$ ) і кольоровість ( $C_{\phi,k}$ ) фільтрованої води визначають за формулами:

$$M_{\phi,k} = M_e (1 - E_{o,k}), \text{ мг/дм}^3, \quad (3)$$

$$C_{\phi,k} = C_e (1 - E_{o,k}), \text{ град.}, \quad (4)$$

де  $M_e$  і  $C_e$  – відповідно каламутність (мг/дм<sup>3</sup>) і кольоровість (град.) вихідної води;  $E_{o,k}$  і  $E_{o,k}$  – ефективність відповідно освітлення і знебарвлення води для  $k$ -го моменту часу від початку фільтроцикла, що визначаються за формулою (1).

Для підземних вод вміст заліза у фільтрованій воді знаходять за формулою

$$C_{\phi,k} = C_e (1 - E_{o,k}^l), \text{ мг/дм}^3, \quad (5)$$

де  $C_e$  – вміст заліза у вихідній воді, мг/дм<sup>3</sup>;  $E_{o,k}^I$  – ефективність знезалізнєння води, що визначається за формулою (1).

Втрати напору у фільтрі визначають за формулою

$$h_{\phi,k} = \frac{h_0 A}{A - h_0 m G_{\phi p,k}}^n, \text{ м}, \quad (6)$$

де  $h_0$  – втрати напору на початку фільтроцикла (після промивки фільтра), м;  $A$  – параметр фільтрування води

$$A = V_{\phi} l_{\phi}, \text{ м}^2/\text{год}; \quad (7)$$

$V_{\phi}$  – швидкість фільтрування води, м/год;  $l_{\phi}$  – товщина фільтрувально-го завантаження, що приймає участь у затриманні осадів із фільтрованої води, м.

Питома брудомісткість освітлювального фільтра для  $k$ -го моменту часу визначається за формулами [3, 4]:

- для поверхневих вод

$$G_{\phi p,k} = 0,001 V_{\phi} (D_k + M_{e,cp}) \int_0^{T_{\phi,k}} E_{o,i} T_{\phi,i}, \text{ кг/м}^2; \quad (8)$$

- при знезалізнєнні підземних вод

$$G_{\phi p,k} = 0,0019 V_{\phi} C_e \int_0^{T_{\phi,k}} E_i T_{\phi,i}, \text{ кг/м}^2, \quad (9)$$

де  $D_k$  – розрахункова доза коагулянту, мг/дм<sup>3</sup>;  $M_{e,cp}$  – середня каламутність вихідної води за період фільтроциклу, мг/дм<sup>3</sup>;  $E_{o,i}$  – ефективність освітлення води в момент часу  $T_{\phi,i}$  в долях одиниці;  $C_e$  – вміст заліза у вихідній воді, мг/дм<sup>3</sup>;  $E_i$  – ефективність знезалізнєння води в момент часу  $T_{\phi,i}$  в долях одиниці.

Величини  $E_{o,i}$  і  $E_i$  залежать від питомої брудомісткості фільтра для даного моменту часу  $G_{\phi p,i}$ , а отже змінюються на протязі фільтроцикла.

Як показали наші дослідження, залежність  $G_{\phi p,i} = f(T_{\phi,i})$  графічно зображається майже прямою лінією, тобто питома брудомісткість фільтра при постійних величинах  $V_{\phi}$ ,  $M_e$  або  $C_e$  протягом фільтроцикла змінюється приблизно пропорційно тривалості фільтрування води.

Знаючи вміст забруднень у вихідній воді  $M_{e,cp}$  (для поверхневих вод) або  $C_e$  (для підземних вод), дозу коагулянту  $D_k$ , швидкість фільт-

рування води  $V_{\phi}$  і прийнявши для практичних розрахунків  $M_{\phi,cr}=1,5$  мг/дм<sup>3</sup> або  $C_{\phi}=0,3$  мг/дм<sup>3</sup>, можна визначити питому брудомісткість фільтра для будь-якого ( $k$ -го) моменту часу:

- при освітленні поверхневих вод

$$G_{\phi p.k} = 0,001 V_{\phi} T_{\phi.k} (D_k + M_{\phi,cr}) \left( 1 - \frac{1,5}{M_{\phi,cr}} \right), \text{ кг/м}^2; \quad (10)$$

- при знезалізненні підземних вод

$$G_{\phi p.k} = 0,0019 V_{\phi} T_{\phi.k} (C_{\phi} - 0,3), \text{ кг/м}^2, \quad (11)$$

де  $T_{\phi.k}$  – тривалість роботи фільтра від 0 до  $k$ -го моменту часу, год.

Як показали наші дослідження [5], ефективність очищення води на фільтрах з волокнистим і пінополістирольним завантаженнями залежить від багатьох факторів, основними з яких є:

- 1) конструктивні характеристики фільтрів (насиченість фільтра волокнами; довжина волокон; еквівалентний діаметр гранул і коефіцієнт їх неоднорідності; товщина фільтрувального завантаження);
- 2) напрям фільтраційного потоку (зверху вниз чи знизу догори);
- 3) швидкість фільтрування води;
- 4) якість вихідної води (дисперсність завислих речовин і їх стійкість);
- 5) тривалість фільтрування води (присутність у фільтрувальному завантаженні осаду чи сорбованих з води домішок).

Для свіжого фільтрувального завантаження початкова ефективність очищення води  $E_o$  у формулі (1) залежить від перших чотирьох факторів, а потім вона збільшується в процесі “зарядки” фільтра.

Забезпечення потрібної якості фільтрованої води на початку фільтраційного циклу у фільтрі вибраної конструкції можна досягти такими методами:

- 1) зменшення швидкості фільтрування;
- 2) збільшення крупності пластівців (збільшення дози коагулянту);
- 3) неповна промивка фільтрів.

Мінімальна питома брудомісткість фільтра, кг/м<sup>2</sup>, при якій якість очищених поверхневих вод буде відповідати встановленим вимогам, для пінополістирольного фільтра дорівнює [3]  $G_{\phi p.min}=4,8$  кг/м<sup>2</sup>, а при знезалізненні підземних вод визначається за формулою [4]

$$G_{\phi p.min} = \left( 1,57 - \frac{5,17}{C_{\phi}} \right)^{7,14}. \quad (12)$$

Тривалість фільтроцикла визначається як час від початку фільтрування до моменту, коли не виконується одна або обидві наступні умови:

$$C_{\phi} \leq [C]; \quad (13)$$

$$h_{\phi} \leq [h], \quad (14)$$

де  $[C]$  і  $[h]$  – гранично допустимі відповідно якості очищеної води і втрати напору на фільтрі.

Для поверхневих вод під  $[C]$  розуміємо:  $M \leq 1,5$  мг/дм<sup>3</sup>;  $C \leq 20$  °ПКШ, а при знезалізненні підземних вод –  $[C] \leq 0,3$  мг/дм<sup>3</sup>. Величину  $[h]$  знаходять на основі техніко-економічних розрахунків, а значення  $h_o$  у формулі (6) приймають залежно від конструктивних параметрів фільтра і швидкості фільтрування води.

Площа поперечного перерізу біофільтра розраховується за формулою

$$\omega = \frac{K_1 K_2 Q_p}{180}, \text{ м}^2, \quad (15)$$

де  $Q_p$  – розрахункова витрата води одного біофільтра, м<sup>3</sup>/год;  $K_1 = 1,3$  – коефіцієнт стиснення площі біофільтра волокнами завантаження;  $K_2 = 1,8-2,0$  – коефіцієнт, що враховує забруднення біофільтра.

Таким чином, в умовах прогресуючого забруднення природних вод актуальною є проблема інтенсифікації процесів їх очистки в системах господарсько-питного водопостачання.

Використання запропонованої технології водопідготовки на установках з волокнистим і пінополістирольним фільтрувальними завантаженнями дозволяє поліпшити якість очищеної води при мінімальній її собівартості.

Запропонована методика розрахунку дозволяє визначити оптимальні конструктивні і технологічні параметри біофільтра і контактного освітлювального фільтра.

1. Дренаж с волокнистыми фильтрами для защиты территорий от подтопления / Пивовар Н.Г., Бугай Н.Г. и др. – К., 2000. – 332 с.

2. Хоружий В.П. Шляхи інтенсифікації очистки води у системах сільськогосподарського водопостачання і водовідведення // Зб. доповідей Міжнародного конгресу “ЕТЕВК-2003”. – Ялта, 2003. – С.158-160.

3. Хоружий В.П. Дослідження процесів реагентної очистки холодних поверхневих вод на фільтрах з плаваючим завантаженням // Вісник УДУВГП: Зб. наук. праць. Вип.6 (19). – Рівне, 2003. – С.187-195.

4. Хоружий П.Д., Хомуецкая Т.П., Хоружий В.П. Исследование процессов и разработка технологии обезжелезивания воды с помощью железобактерий // Химия и технология воды. – 2003. – Т.25, № 5. – С.465-475.

5. Хоружий В.П. Очистка поверхностных вод у локальных системах сільськогоспо-

дарського водопостачання // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.49. – К.: Техніка, 2003. – С.107-114.

*Отримано 14.07.2004*

УДК 628.16.087 : 620.19 + 628.162.4

А.Я.НАЙМАНОВ, д-р техн. наук, Н.И.ЗОТОВ, канд. техн. наук,  
С.Е.АНТОНЕНКО

*Донбасская государственная академия строительства и архитектуры, г.Макеевка*

### **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ**

Рассматривается возможность подпитки паровых котлов электрохимически умягченной водой. Дана модель установки. Приведены зависимости интенсивности накипеобразования от дозы электричества и средние показатели качества воды.

Котлы, используемые в системах отопления, сильно страдают от накипеобразования. При нагревании в воде происходят различные физико-химические процессы, которые приводят к образованию нерастворимых соединений  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Находясь в воде во взвешенном состоянии, они под действием термо-э.д.с. стремятся закрепиться на поверхности нагрева котла. В результате на его внутренней стенке образуется слой накипи толщиной 3-5 мм. Являясь плохим проводником тепла, эти отложения снижают коэффициент теплопередачи и нарушают тепловой режим котельной. Для поддержания температуры воды на должном уровне приходится увеличивать расход топлива. К тому же уменьшается срок службы котлов.

Проблему повышения эффективности работы котельных установок можно решить путем химической или физической обработки воды. Наиболее распространенная сейчас химическая противонакипная обработка воды на Na-катионитных фильтрах или комплексонами экономически оправдывает себя только на котельных большой производительности. Для котельных малой и средней производительности сопутствующие этим методам затраты на содержание реагентного хозяйства и дополнительного обслуживающего персонала слишком ощутимы и им проще использовать необработанную воду. Магнитная и ультразвуковая противонакипная обработка воды применяются довольно редко, т.к. они недостаточно изучены и имеют низкий КПД [1, 2].

Работа выполнена в рамках государственной программы охраны окружающей среды – 4-е направление научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Украины.

Целью настоящих исследований является разработка электрохи-